

УДК 697.91.94.97

**Н.В. Жихарева**

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОПРИПЛИВІВ В ПРИМІЩЕННЯ ПРИ КОНДИЦІОНУВАННІ ПОВІТРЯ

*В роботі розглянуті особливості розрахунку теплоприпливів при проектуванні систем кондиціювання повітря. Показані особливості розрахунку теплоприпливів через огороження з врахуванням вливу прямої та розсіяної радіації з врахуванням запізнювання. За даними досліджень розроблена комплексна модель розрахунку теплоприпливів для підбору кондиціювання повітря басейну, що включає визначення оптимальних параметрів, визначення економічно-доцільної товщини ізоляції; підбір системи кондиціювання.*

**Ключові слова:** тепло-вологісне навантаження, запізнювання, сонячна радіація, кондиціювання повітря, витрата повітря

**Н.В. Жихарева**

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, Одесса, 65039

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ТЕПЛОПРИТОКОВ В ПОМЕЩЕНИИ ПРИ КОНДИЦИОНИРОВАНИИ ВОЗДУХА

*В работе рассмотрены особенности расчета теплопритоков при проектировании систем кондиционирования воздуха для помещений. Показаны особенности расчета тепло-влажностных нагрузок: расчет теплопритоков через ограждения с учетом прямой и рассеянной радиации с учетом запаздывания и теплопритоков от различных источников. По данным исследований разработана комплексная модель расчета кондиционирования воздуха включая определение оптимальных параметров, определение экономически целесообразной толщины изоляции; подбор системы кондиционирования воздуха*

**Ключевые слова:** тепло-влажностные нагрузки, запаздывание, солнечная радиация, кондиционирование воздуха, расход воздуха

### I. ВСТУП

Для визначення теплоприпливів через огороження в приміщення різних за призначенням і архітектурно-будівельним характеристикам об'єктів практично використовують різні, переважно стаціонарні, методи розрахунку [1,2].

В реальності відсутні об'єкти, теплоприпливи які носять повністю стаціонарний характер. Це обумовлено зміною зовнішньої температури повітря і нестаціонарним режимом функціонування об'єкта. Найбільш яскраво виражений нестаціонарний характер тепло припливів протягом добового циклу в приміщеннях громадських будівель і споруд. Тому для великих громадських будівель: театрів, ресторанів і т.п. вибір холодопродуктивності систем кондиціювання за сумою усіх видів максимальних тепло припливів без урахування їх нестаціонарності в протягом добового циклу може призвести до необґрунтованого її завищення, а значить до збільшення капітальних і згодом експлуатаційних витрат на систему кондиціювання. Розглянута методика розрахунку тепло припливів дозволяє обґрунтовано вибрати холодопродуктивність системи кондиціювання, як правило меншу, ніж при традиційному розрахунку по максимуму

теплових завантажень без урахування їх неспівпадання за часом доби і теплової інерції огорожень. Особливо ефективно використання запропонованої методики для великих об'єктів, що працюють в яскраво вираженому нестаціонарному режимі: театри, заводські їдальні, конференц зали та ін

### II ОБЛАСТІ ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОПРИПЛИВІВ В КОНДИЦІОНОВАНІ ПРИМІЩЕННІ

Критерієм вибору холодопродуктивності кондиціонера є, як правило, умова забезпечення в приміщенні з кондиціонером заданої температури при розрахунковій нормованій температурі зовнішнього повітря і певної, з урахуванням вимог нормативних документів, величини подачі свіжого повітря.

Для визначення теплоприпливів в приміщеннях різних за призначенням та архітектурно-будівельним характеристикам об'єктів практично використовують різні, переважно стаціонарні, методи розрахунку. Строго кажучи, в реальності відсутні об'єкти, теплоприпливи які носять повністю стаціонарний характер. Це обумовлено зміною

зовнішньої температури повітря і нестационарним режимом функціонування об'єкта. Найбільш яскраво виражений нестационарний характер теплопритоків протягом добового циклу в приміщення громадських будинків і споруд. Тому для великих громадських будівель: театрів, ресторанів і т.п. вибір холодопродуктивності систем кондиціонування по сумі всіх видів максимальних теплопритоків без урахування їх нестационарності протягом добового циклу може призвести до необґрунтованого її завищення, а значить до збільшення капітальних і згодом експлуатаційних витрат на систему кондиціонування. З іншого боку, для розрахункової оцінки теплоприпливів в прості типові об'єкти, як наприклад житлові кімнати 20-40 м<sup>2</sup> у звичайних типових будинках (висота стель 2,7-3 м, площа вікон 0,8-1 м<sup>2</sup> на 10 м<sup>2</sup> площі), може бути використано найпростіше співвідношення 100 Вт на 1 м<sup>2</sup>. Така найпростіша оцінка буде досить коректною у багатьох випадках підбору кондиціонерів для житлових кімнат зазначеної вище площі, але в окремих випадках похибка такої оцінки може перевищити 25%. Для зниження похибки пропонується коефіцієнтний метод уточнення оцінки теплоприпливів, виконаної за вищенаведеним найпростішого співвідношенням. При використанні коефіцієнтного методу похибка оцінки теплоприпливів в приміщення в більшості випадків не перевищує 15%. Завдяки простих апроксимаційних залежностей можливе підібрати кондиціонер, але з великою похибкою [1].

При наявності в приміщенні ліхтаря, скляних стін, потужних внутрішніх джерел тепла та інших особливостей визначення необхідної холодопродуктивності кондиціонера за найпростішим співвідношенням і уточнення його по Коефіцієнтний метод може виявитися неприйнятним через занадто великий похибки. Тому використання певного вище розрахунку і його уточнення коефіцієнтним методом можливо тільки при виконанні оцінки холодопродуктивності побутового кондиціонера досвідченим фахівцем для простого випадку його установки в звичайній житловій кімнаті. При виконанні проектних робіт або у разі, що відрізняється від вищевказаного, необхідно використовувати для визначення тепло припливів через зовнішні і внутрішні стіни, стеля, підлога, скління світлових прорізів і теплоприпливів від внутрішніх джерел тепла чинні в Україні нормативні документи та довідкові джерела, узгоджені для використання проектними організаціями. У зв'язку з великою різноманітністю об'єктів, що вимагають кондиціонування повітря, нормативні документи не призводять жорсткого алгоритму (на відміну, наприклад, від розрахунку котлів) для розрахунку необхідної холодопродуктивності системи кондиціонування, обмежуючись методами і таблицями для розрахунку окремих видів теплоприпливів, допускаючи можливість адитивного підсумовування їх максимальних значень на момент максимальних теплоприпливів через світлові прорізи і в деякі

інші моменти часу доби, за вибором проектанта. Такий розрахунок розрахунок другого рівня.

Для деяких великих громадських приміщень при розрахунку теплоприпливів в стаціонарному режимі за сумою їх максимумів, адитивно сумірюємих за часом максимуму теплопритоків через світлові прорізи, може бути отримана неприпустима помилка будь-якого знака. Наприклад, завищення холодопродуктивності системи кондиціонування для залу білліардної площею підлоги 200-300 м<sup>2</sup>, розташоване у цокольному приміщенні, для залу показу мод в капітальній будівлі з тривалістю сеансу менше 1,5 годин, для великої заводської їдальні з піком чисельності відвідувачів в обідній час або для складу зберігання фармакологічної продукції, в якому, за відсутності вікон, максимальний тепловий потік на зовнішні стіни доводиться на денні, а максимум теплового потоку від внутрішніх стін в приміщення на нічні години, коли зовнішня температура нижче, а холодопродуктивність системи кондиціонування вище.

Неприпустимо велике заниження необхідної потужності системи кондиціонування, при розрахунку по стаціонарній методикою, може бути допущено, наприклад, для ресторанного залу з капітальною зовнішньою стіною і вікнами південної орієнтації, що не працює в денні години в режимі ресторану, пік функціональної активності якого припадає на вечірні та нічні години.

Для зазначених вище і подібних випадків розрахунку холодопродуктивності для великих громадських приміщень, де ціна помилки може бути неприйнятною, потрібно використання методики розрахунку нестационарного режиму теплоприпливів протягом добового циклу. Виконання розрахунку за цією методикою назвемо «Розрахунок третього рівня». Резюмуючи, можна відзначити, що кожна методика має практичну нішу доцільного застосування.

Нами розглянута методика розрахунку необхідної холодопродуктивності кондиціонера, яка враховує теплову інерцію огорожень і повітря в приміщенні, нестационарність протягом добового циклу зовнішньої температури повітря, сонячної радіації, освітлення, тепловиділень людей, обладнання та інших джерел

Ця методика виконана в 2-х модифікаціях і дозволяє обґрунтовано вибрати холодопродуктивність системи кондиціонування, як правило меншу, ніж при традиційному розрахунку по максимуму теплових завантажень без урахування їх неспівпадання за часом доби і теплової інерції огорож. Особливо ефективно використання пропонованої методики для великих об'єктів, що працюють в яскраво вираженому нестационарному режимі: театри, заводські їдальні, конференцзали та ін.

Нестационарні розрахунки при виборі комплектів обладнання кондиціонування і вентиляції житлових і громадських будівель, наведені в, будуть частіше використовуватися у міру зростання важливості та актуальності проблеми енергозбереження.

.Розрахунок теплопривів в приміщення розраховуємо за формулою:

$$Q_{\text{пов}} = Q_{\text{огор}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{люд}} + Q_{\text{вип}}, \text{ кВт} \quad (1)$$

Для визначення продуктивності систем з урахуванням теплоінерційності приміщення розрахункові зміни теплоприпливів апроксимують правильними періодичними змінами (гармонійними, переривчастими або їх сумою).

Розрахункова кількість тепла надходить в приміщення, залежить від орієнтації будівлі і форми їх в плані. Гармонійні зміни теплоприпливів характеризують середніми за добу тепло припливи  $Q_{\text{ср}}$ , часом настання максимуму  $Z_{Q_{\text{макс}}}$  і амплітудою  $A_Q$ :

$$A_Q = Q_{\text{макс}} - Q_{\text{ср}} \quad (2)$$

Кількість теплоти, що надходить в приміщення через зовнішні стіни і перекриття площею  $R_{\text{ог}}$  - необхідний опір теплопередачі, ( $\text{м}^2 \text{ К /Вт}$ ), що характеризує ступінь теплового захисту огорожувальної конструкції [4,5].

Теплоприпливи через зовнішні стіни та перекриття визначаються залежностями

$$Q_{\text{ст}} = F_{\text{ст}} \left[ K_{\text{ст}} \left( t_{\text{н.ср}} + \frac{\rho_{\text{ст}} J_{\text{ср}}^{\text{е}}}{\alpha_{\text{нар}}^{\text{е}}} - t_{\text{в}} \right) + \frac{\alpha_{\text{вн}}^{\text{е}} \beta_{\text{к}}}{\nu} \left( 0,5 \theta_1 A_{\text{тн.}} + \frac{\rho_{\text{ст}} \theta_2 A_j}{\alpha_{\text{нар}}^{\text{е}}} \right) \right] \quad (3)$$

$$Q_{\text{перек}} = F_{\text{перек}} \left[ K_{\text{перек}} \left( t_{\text{н.ср}} + \frac{\rho_{\text{перек}} J_{\text{ср}}^{\text{е}}}{\alpha_{\text{нар}}^{\text{е}}} - t_{\text{в}} \right) + \frac{\alpha_{\text{вн}}^{\text{е}} \beta_{\text{к}}}{\nu} \left( 0,5 \theta_1 A_{\text{тн.}} + \frac{\rho_{\text{перек}} \theta_2 A_j}{\alpha_{\text{нар}}^{\text{е}}} \right) \right] \quad (4)$$

де  $K$  – коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни або перекриття,  $\text{Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  та дорівнює  $K=1/R_o$ .

Опір теплопередачі  $R_o$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ )/Вт, огорожуючої конструкції необхідно визначати за формулою з врахуванням конструкції стін:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + R_{\text{к}} + \frac{1}{\alpha_{\text{нар}}}, \quad (5)$$

де  $R_{\text{к}}$  - термічний опір огорожуючої конструкції, ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ )/Вт, визначається: для одношарової  $\delta/\lambda$ . Термічний опір  $R_{\text{к}}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ )/Вт, огорожуючої конструкції із послідовно розташованих однорідних шарів слід визначати як суму термічних опорів окремих шарів.

$J_{\text{ср}}$  - середньодобова кількість теплоти сумарної (прямої і розсіяної сонячної радіації, що на поверхню стін або перекриттів. [5].

$t_{\text{в}}$  - розрахункова температура повітря в приміщенні;

$\beta_{\text{к}}$  - коефіцієнт, що враховує повітряний прошарок,  $\beta_{\text{к}}=0,6$ , без прошарку  $\beta_{\text{к}}=1$ ;

$\nu$  - значення гасіння коливань температури зовнішнього повітря в конструкції стіни і перекриття,

$$\nu = 2^{\sum D} (0,83 + 3 \frac{\sum R}{\sum D}) (0,85 + 0,15 \frac{S_2}{S_1}) \quad (6)$$

$A_{\text{тн}}$  - середньодобова амплітуда коливань температури;

$A_j$  - кількість теплоти, рівна різниці сумарної сонячної радіації в кожну годину (прямої і розсіяної)

$$J_{\text{макс}} = J_{\text{пр}} + J_{\text{р}} \quad (7)$$

і середньої за добу сумарної сонячної радіації  $J_{\text{ср}}$

$$A_j = [(J_{\text{пр}} + J_{\text{р}}) - J_{\text{ср}}] \quad (8)$$

$\theta_1$  - коефіцієнт гармонійної зміни зовнішньої температури визначається;

$\theta_2$  - коефіцієнт гармонійної зміни температури внутрішньої поверхні

Всі ці показники визначаються з врахуванням запізнювання температурних коливань в огорожуючій конструкції

$$\varepsilon = 2,7 \cdot \sum D - 0,4. \quad (8)$$

## II. АНАЛІЗ ПРИВЕДЕНИХ

Розглянуті методики розрахунку на реальних об'єктах. Аналіз відповідності результатів розрахунку третього рівня для магазину та кількості оплаченої електроенергії, використаної магазином, показало, що для цього магазину необхідна система кондиціонування холодопродуктивністю не менше 10,2 кВт. Для великих об'єктів з чітко вираженим нестационарним режимом функціонування процесі добового циклу доцільно виконати розрахунок третього рівня в двох модифікаціях.

Показаний вплив гармонійних змін температур огорожень для зовнішніх та внутрішніх стін. (рис 1, рис.2). Тим саме показаний вплив цих змін.

Перша модифікація - це розрахунок змінюються погодинних теплоприпливів протягом добового циклу, друга - визначення необхідної змінюється погодинної холодопродуктивності системи кондиціонування для підтримки з необхідною точністю заданої температури в приміщенні об'єкта у робочі та неробочі години добового циклу. наведені ці модифікації розрахунку для заводській їдальні по одним і тим же вихідним даним. Різниця результатів розрахунку максимальної середньодобової величини теплопритоків по першій модифікації третій рівня і максимальної необхідної середньодобової холодопродуктивності, визначеної за методикою розрахунку другого модифікації третій рівня, що забезпечує необхідну точність підтримки заданої температури, складає в цьому випадку менш 1%.

За методикою другого модифікації показано, що якщо протягом 1,1 години з 12,1 до 13,2 годин допустити підвищення температури в обідньому залі до температури  $29 \text{ } ^\circ\text{C}$  при середньоінтегральній значенні в цей період  $28,67 \text{ } ^\circ\text{C}$ , то можна зни-

зити потрібну установочну холодопродуктивність системи кондиціювання з 61790 Вт до 55610 Вт або на 10%. Ця економія дозволить всього на кілька десятків (кВт год) знизити загальне електроспоживання всього об'єкта, але при цьому сумарне місячне споживання дозволить перейти в більш низьку категорію споживачів електроенергії, така економія має сенс. Якщо цього не станеться, але комфортний мікроклімат в їдальні погіршиться, то може бути така економія абсолютно недоцільна і призведе до втрат виручки їдальні при роботі в спекотні літні місяці.

## VI. ВИСНОВКИ

Приведена модель розрахунку теплоприпливів через огородження дозволяє врахувати вплив сонячної радіації та конструкції огорожень

Резюмуючи, необхідно ще раз підкреслити, що в різних випадках для різних об'єктів може бути обрана відповідна методика оцінки або розрахунку теплоприпливів в приміщення, але цей вибір, з урахуванням обов'язкових приписів нормативних документів і особливостей конкретного об'єкта.

Використання нами цієї методики при розробці та реалізації технічних рішень систем кондиціювання повітря дало високі результати. Практично у всіх випадках об'єм повітря, розрахований за цією методикою, забезпечував необ-

хідний температурно-вологісний режим приміщенні басейнів протягом усіх періодів року.

Використовуючи дані дослідження можливо підібрати систему кондиціювання, що дозволяє підтримувати параметри повітря, які мають важливе значення для здоров'я людей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Переписка В.И., Жихарева Н.В.** Расчеты систем кондиционирования и вентиляции. Одесса: «ТЭС», 2014. – 240 с.
2. **Богословский В.Н.** Три аспекта создания здания с эффективным использованием энергии. //АВОК 1998, — С. 32–36.
3. **Жихарсва Н.В., Хмельнюк М.Г.** Повышение эффективности системы охлаждения плодохранищ //Вестник международной академии холода 2013. – Вып 4. –С. 16 – 20.
4. **Белова Е.М.** Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами. 2003, 400с.
5. **Хмельнюк М.Г., Жихарсва Н.В., Ольшевська О.В.** Економічно-доцільна товщина ізоляції сучасних ізоляційних матеріалів плодохочесховищ // Холодильна техніка і технологія 2015. – №3. –С. 22 – 25.

**N.V.Zhikhareva**

Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaja str., Odessa, 65039

## CALCULATING FEATURES OF HEAT GAIN IN A AIR CONDITIONING ROOM

*The paper deals with the calculation of heat gains especially in the design of air conditioning systems for buildings. The features of calculating the heat and humidity loads: calculation of heat gains through the fence taking into account the direct and scattered radiation in view of the delay, and heat gains from various sources .. According to research, a comprehensive model for calculating air conditioning including the determination of the optimum parameters defining cost-effective insulation thickness; selection of the air conditioning system.*

**Keywords:** heat and humidity loads, lag, solar radiation, air conditioning, air flow

## REFERENCES

1. **Perepeka V.I., Zhikhareva N.V** The calculations of air conditioning and ventilation. Odessa«TEC», 2014. – 240 p.
2. **Bogoslovskiy V.N.** Tree aspects of the creation of buildings with effective use of energy-ogy. / AVOK. 1998. –3. –P. 32 – 36.
3. **Zhikhareva N.V., Khmelniuk M.G.** Effectiveness increase for fruit and vegetables store cooling system M” Announcer of international academy of cold 2013. –4. –P. 16 – 20.
4. **Belova E.M.** Air conditioning systems with chillers and fan coils. **2003 -400p.**
5. **Khmelniuk M.G. , Zhikhareva N.V., Ольшевська О.В.** Економічно-доцільна товщина ізоляції сучасних ізоляційних матеріалів плодохочесховищ – Холодильна техніка і технологія 2015. – №3. –С. 22 – 25.